

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Ecole Nationale Polytechnique**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

**LAVALEF**

**Département Génie Chimique  
Laboratoire De Valorisation Des Energies Fossiles**

Mémoire de Master en Génie Chimique

**Thème :**

***Mobilité de l'oxamyl dans le sol***

***Présenté par : Youcef DENIDENI***

***Sous la direction de Mme.Y.TCHOULAK MAA et M.A.SELATNIA Pr***

***Présenté et soutenu publiquement le (14/06/2017)***

**Composition du jury :**

Président : M.T.AHMED ZAID	Professeur à l'ENP
Examinatrice : Mme.S.HADDOUM	Maitre de Conférences à l'ENP
Examinatrice : Mme.F.MEZIANI	Maitre Assistante à l'ENP
Promoteurs: M. A. SELATNIA	Professeur à l'E.N.P
Mme.Y.TCHOULAK	Maitre assistante à l'E.N.P

***ENP 2017***



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**Ecole Nationale Polytechnique**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

**LAVALEF**

**Département Génie Chimique  
Laboratoire De Valorisation Des Energies Fossiles**

Mémoire de Master en Génie Chimique

**Thème :**

***Mobilité de l'oxamyl dans le sol***

***Présenté par : Youcef DENIDENI***

***Sous la direction de Mme.Y.TCHOULAK MAA et M.A.SELATNIA Pr***

***Présenté et soutenu publiquement le (14/06/2017)***

**Composition du jury :**

Président : M. T. AHMED ZAID	Professeur à l'ENP
Examinatrice : Mme. S. HADDOUM	Maitre de Conférences à l'ENP
Examinatrice : Mme. F. MEZIANI	Maitre Assistante à l'ENP
Promoteurs: M. A. SELATNIA	Professeur à l'E.N.P
Mme. Y. TCHOULAK	Maitre assistante à l'E.N.P

***ENP 2017***

# *DEDICACES*

*Je dédie le fruit de mes années d'études à :*

*Mes chers parents pour leurs sacrifices, leurs soutiens et leurs encouragements ;*

*Mes chers grands parents.*

*Mes deux frères ;*

*Tous mes amis.*

*Youcef DENIDENI*

# REMERCIEMENTS

*Mes remerciements s'adressent en premier lieu à Dieu pour m'avoir donné la force et le savoir pour élaborer ce modeste travail.*

*Je remercie respectueusement mes promoteurs, madame Y.TCHOULAK et monsieur A.SELATNIA, pour leurs précieux encadrements et conseils. Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Je remercie monsieur T.AHMED ZAID, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour m'avoir honoré en présidant le jury.*

*Que soient remerciés madame S. HADDOUM, Maitre de conférences à l'Ecole Nationale Polytechnique et madame F.MEZIANI maitre assistante à l'Ecole Nationale Polytechnique pour l'honneur qu'elles m'ont fait en acceptant d'examiner et d'évaluer mon travail.*

*Je profite de cette occasion pour remercier l'ensemble des Professeurs du Département de Génie Chimique de l'Ecole Nationale Polytechnique, qui ont contribué à ma formation, et ainsi tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## ملخص :

الهدف من هذا العمل هو تبيين خطورة المبيدات الحشرية و ذلك بشرح اثارهم السلبية على الانسان و خطرهم على الطبيعة, و كذلك ماذا يصبحون بعد استعمالهم.  
اخذنا كمثال احد المبيدات الحشرية الاكثر استعمالا, "الاوكزاميل". قمنا بعدة بحوث الاعمال السابقة التي تناولت موضوع تنقلية "الاوكزاميل" في الارض.

الكلمات المفتاحية: المبيدات الحشرية, التلوث, التنقلية, الاوكزاميل.

## ABSTRACT:

The aim of this work is to examine the effects of pesticides on the environment.

We have take as example one of the most used pesticides: "Oxamyl". We have done a bibliographic synthesis on the mobility of oxamyl in the soil.

**Key words:** Pesticides, Pollution, Mobility, Oxamyl

## RESUME:

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence la dangerosité des pesticides, et ceci en en mettant en avant leurs impacts sur l'homme et sur l'environnement.

Nous avons pris comme exemple l'un des pesticides les plus utilisé qui est l'oxamyl. Nous avons fait une synthèse bibliographique des travaux étudiants sa mobilité dans le sol.

**Mots clés :** Pesticides, Pollution, Mobilité, Oxamyl

## Table des matières

### Liste des tableaux

### Liste des figures

### Liste des abréviations

### Introduction générale ..... 11

### Chapitre I : Les pesticides

I.1. Introduction.....	13
I.2. Définition et historique.....	13
I.3. Classification des pesticides.....	14
I.4. Formulations des pesticides.....	15
I.5. Solubilité des pesticides.....	15
I.6. Devenir des pesticides.....	16
I.5.1. La rétention.....	17
I.5.2. Les transferts.....	17
I.5.3. La dégradation.....	19
I.7. Pollution et impact.....	20
I.7.1. Effet sur la santé humaine.....	20
I.7.1. Effet sur l'environnement.....	21
I.8. Cadre législative.....	21

### Chapitre II : Le sol

II.1. Définitions.....	23
II.2. Les constituants du sol.....	24
II.2.1. Composition de la phase solide du sol.....	24
II.2.1.1 La fraction minérale.....	24
II.2.1.2 La fraction organique.....	26
II.2.2. Composition de la phase liquide du sol.....	27
II.2.3. Composition de la phase gaz du sol.....	27
II.3. Propriétés du sol.....	28

II.3.1. Propriétés physiques du sol.....	28
II.3.2 Propriétés chimiques gaz du sol.....	31.

### **Chapitre III : L'adsorption des pesticides sur le sol**

III.1. Définition.....	35
III.2. Types d'adsorption.....	35
III.2.1. Adsorption physique.....	35
III.2.2. Adsorption physique.....	35
III.3. Isothermes d'adsorption.....	36
III.4. Modélisation de l'adsorption .....	37
III.5. Adsorption des pesticides sur le sol.....	39
III.5.1. Facteurs influençant l'adsorption des pesticides sur le sol.....	39
III.5.2. Effet de la composition du sol sur l'adsorption des pesticides..	40

### **Chapitre IV : Mobilité de l'oxamyl dans le sol**

IV.1. Introduction.....	42
IV.2 Propriétés et caractéristiques de l'oxamyl .....	42
IV.3. Etude de la mobilité de l'oxamyl dans le sol.....	43
IV.3.1. Composition des sols.....	43
IV.3.2. Adsorption de l'oxamyl sur le sol.....	44
IV.3.3. Décomposition de l'oxamyl dans le sol.....	44

<b><u>V. Conclusion générale</u></b> .....	47
--	----

<b><u>Références bibliographiques</u></b> .....	49
---	----

## *Liste des tableaux*

**Tableau II.1.** Type de particule en fonction de la taille

**Tableau III.1 :** Caractéristiques de l'adsorption physique et de l'adsorption chimique

**Tableau IV.1.** Propriétés physique et chimique de l'oxamyl

**Tableau IV.2.** Composition des sols étudiés

**Tableau IV.3.** Paramètres d'adsorption de l'oxamyl sur les différents sols

**Tableau IV.4.** Résultats de la décomposition de l'oxamyl sur le sol n°2

## *Liste des figures*

**Figure I.1** Evolution du marché mondial des pesticides (en millions de dollars)

**Figure I. 2** Parcours effectué par certains pesticides dans l'environnement.

**Figure II.1.** Le sol, réservoir, tampon et transformateur des polluants.

**Figure II.2.** Classement des particules minérales.

**Figure II.3.** Triangle des textures minérales.

**Figure II.4.** Structure du sol.

**Figure II.5.** Schéma du complexe argilo humique(CAH).

**Figure II.6.** Fixation des ions sur le complexe argilo humique.

**Figure III.1.** Différents types d'isothermes.

**Figure IV.1.** Structure de l'oxamyl

## *Liste des abréviations*

**DDT** : Dichlorodiphényltrichloroéthane

**K<sub>oc</sub>** : Coefficient de partage octanol-carbone du sol

**MO** : Matière organique

**K<sub>d</sub>** : Coefficient de partage entre la phase liquide et la phase solide

**DT<sub>50</sub>** : Temps de demi vie

**GUS** : Ground Ubiquinty Score

**SH** : Substance humique.

**CAH** : Complexe argilo-humique

**LMR** : Limite maximale de résidu

**DL<sub>50</sub>** : Dose létale 50

**DJA** : Dose journalière acceptable

**DES** : Dose sans effet

**Introduction**

**générale**

## **Introduction générale :**

L'agriculture est l'un des secteurs vitaux pour l'alimentation des être humain, et représente un rôle majeur dans le développement économique des nations. Développer l'agriculture et obtenir des rendements élevés est le but majeur des actifs de ce domaine.

Atteindre cet objectif s'avère être assez complexe, car les paramètres contrôlant ces rendement sont multiples et les façons de les gérés sont elles aussi multiples.

Parmi les problèmes les plus rencontrés dans le domaine de l'agriculture, on trouve celui des espèces indésirables qui détruisent les plantations des agriculteurs, les herbes indésirables et les insectes et les nématodes sont les principaux ravageurs des plantations agricoles.

Pour palier à ce problème les chercheurs ont développé des produits nommés pesticides, dont la première fonction est de lutter contre ces espèces indésirables.

Malgré les avantages qu'offrent les pesticides dans la lutte contre les espèces indésirables il s'est avérée qu'ils sont nuisible pour la santé de l'homme et pour l'environnement.

L'un des compartiments de notre environnement les plus concernées par les effets de toxicité des pesticides est l'eau souterraine, cette ressource qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources de contaminations ponctuelles et diffuses.

La migration de ces polluants dépend étroitement de leurs propriétés et de celles des milieux traversés par ces derniers.

Beaucoup de travaux de recherche ont été réalisés pour étudier le comportement des pesticides dans le sol.

Notre intérêt s'est porté sur une molécule très importante qui est l'oxamyl connu aussi sous le nom de « vydate ». Il se positionne comme l'un des pesticides les plus efficaces dans la lutte contre les nématodes. Malgré ses nombreux avantages, l'oxamyl présente un risque majeur de contamination des eaux souterraines après son application sur le sol, d'où la nécessité d'avoir quelques données techniques et scientifiques pour mieux comprendre ces risques

Notre étude est répartie en quatre chapitre, le premiers donne des généralités sur les pesticides et leurs effets sur la sante et l'environnement. Le deuxième chapitre s'intéresse à la constitution du sol et ses propriétés.

Après avoir abordé le phénomène d'adsorption en générale, et l'adsorption des pesticides en particulier en mettant évidence les facteurs qui l'influencent, le chapitre IV à porté sur la mobilité de l'oxamyl dans le sol afin d'avoir une idée sur le devenir de l'oxamyl après son application sur le sol.

Notre étude s'achève par une conclusion générale.

# Chapitre I

## Les pesticides

### I.1. Introduction :

L'agriculture moderne cherche à obtenir une production à l'hectare très élevée au moyen de variétés végétales à haut rendement et de techniques intensives. La fragilité génétique de ces variétés productives et les conditions dans lesquelles elles sont cultivées les rendent très vulnérables aux maladies et aux ravageurs. Pour protéger ses récoltes l'agriculteur utilise toute une batterie de pesticides élaborés par l'industrie chimique. Les fabricants, les vendeurs et les utilisateurs préfèrent employer l'expression « produits phytosanitaires » qui fait référence à la santé des plantes plutôt que « pesticides » qui évoque plus brutalement le fait qu'il s'agit de biocides, c'est à dire de substances destinées à éliminer, de façon plus ou moins sélective des organismes vivants.[1]

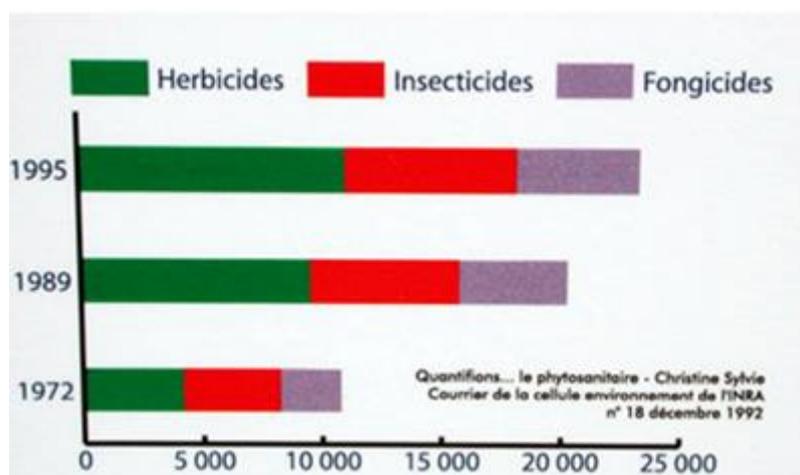
### I.2. Définition et historique :

Les pesticides (insecticides, raticides, fongicides, et herbicides...etc) sont des composés chimiques dotés de propriétés toxicologiques, utilisés par les agriculteurs pour lutter contre les animaux (insectes, rongeurs) ou les plantes (champignons, mauvaises herbes) jugés nuisibles aux plantations. [2]

L'usage systématique des pesticides en agriculture est une pratique récente qui accompagne le développement d'une agriculture de type industriel.

A partir de 1843 on commence à utiliser le soufre, puis la bouillie bordelaise ( 1885 ) pour la protection des vignobles et des vergers contre l'oïdium et le mildiou. [2]

L'efficacité du DDT ( 1940 ) comme insecticide, permettra de sauver de nombreuses vies humaines de maladies transmises par les puces et les poux. Mais son usage en agriculture aboutit à une contamination générale de la planète.



**Figure I.1** Evolution du marché mondial des pesticides (en millions de dollars) [2]

Les principaux pesticides utilisés actuellement appartiennent à quelques grandes familles chimiques :[2]

- **Les organochlorés** (hydrocarbures chlorés) : Comme le DDT synthétisé dès les années 1940, ce sont des pesticides très stables chimiquement. Le DDT a été utilisé partout dans le monde dans la lutte contre les insectes, jusqu'à ce que l'on découvre qu'il était peu dégradable et pouvait se concentrer dans les organismes en bout de chaîne alimentaire, par bio-accumulation, avec des risques certains pour la santé humaine. Son utilisation est aujourd'hui interdite dans de nombreux pays tempérés, mais on en trouve encore beaucoup dans les milieux aquatiques. En outre, ils continuent à être employés dans certains pays tropicaux.
- **Les organophosphorés** : Ce sont des composés de synthèse qui se dégradent assez rapidement dans l'environnement mais qui ont des effets neurotoxiques sur les vertébrés.
- **Les pyréthroides** : Ce sont des insecticides de synthèse très toxiques pour les organismes aquatiques. Une pollution accidentelle des eaux par ces composés peut être dramatique.
- **Les carbamates** : Ils sont d'une très grande toxicité, et sont utilisés comme insecticides et fongicides.

### **I.3. Classification des pesticides**

#### **I.3.1. Les herbicides**

Les herbicides sont des matières actives ou des produits formulés ayant la propriété d'éliminer les végétaux indésirables. Ce sont des produits aux structures chimiques complexes.

Chaque herbicide possède des caractéristiques propres selon sa composition, son mode d'absorption, son effet sur la mauvaise herbe et son élimination progressive. Cependant, bien que chaque produit ait ses propriétés particulières, les herbicides d'une même famille présentent des structures chimiques semblables et de nombreuses caractéristiques communes.

Ils peuvent être sélectifs ou non sélectifs. Ils agissent sur les mauvaises herbes soit par contact en détruisant les parties de la plante sur lesquelles ils sont déposés, soit par pénétration et diffusion lorsqu'ils sont absorbés par les feuilles ou les racines et ils exercent leurs effets toxiques sur l'ensemble du végétal. [3]

### **I.3.2. Les fongicides :**

Un **fongicide** est une substance chimique conçue exclusivement pour éliminer ou limiter le développement des champignons parasites des végétaux. Les fongicides sont également produits à l'état naturel par certains végétaux.[4]

Les cultures très denses entretiennent une atmosphère chaude et humide qui favorise le développement des champignons pathogènes. Pour être efficaces les traitements fongicides doivent être utilisés régulièrement. Les fongicides neutralisent ou réduisent l'activité des champignons qui participent au recyclage de la matière organique. [1]

### **I.3.3. Les insecticides :**

Les insecticides sont des substances actives ou des préparations phytosanitaires ayant la propriété d'éliminer les insectes, leurs larves et/ou leurs œufs. Ils font partie de la famille des pesticides, eux-mêmes inclus dans la famille des biocides.[4]

Beaucoup d'insectes attaquent les plantes cultivées. Les larves sont les plus voraces mais les insectes adultes peuvent aussi commettre des dégâts. Ils peuvent détruire une partie de la récolte, stériliser les fleurs, ou rendre le produit fini impropre à la commercialisation le consommateur étant accusé, à tort ou à raison, de ne pas supporter le moindre défaut dans un fruit ou un légume. [1]

### **I.4. Formulations des pesticides :**

Les pesticides, possèdent un nom commercial qui varie selon le fabricant. Ce produit commercial, ou spécialité commerciale, se compose de deux types de constituants : les matières actives qui lui confèrent son activité pesticide et les adjuvants qui complètent la formulation. Ces derniers peuvent jouer un rôle de dilution des matières actives ou améliorer la qualité de la préparation : stabilité, présentation et facilité d'emploi, comportement physique lors de la pulvérisation (mouillage, adhésion...), et activité biochimique (pouvoir surfactant et qualité phytoprotectrice). [5]

### **I.5. Solubilité des pesticides [5]**

La solubilité est la masse de pesticide dissoute dans un litre d'eau ; elle est exprimée en  $\text{g.L}^{-1}$ ,  $\text{mg.L}^{-1}$ ,  $\mu\text{g.L}^{-1}$  ou  $\text{ng.L}^{-1}$ , selon que le pesticide soit très soluble ou très peu soluble dans l'eau.

Elle dépend de plusieurs facteurs :

- La composition et la structure chimique des pesticides ;
- La température ;
- La composition chimique de la phase liquide (pH, sels, composés organiques).

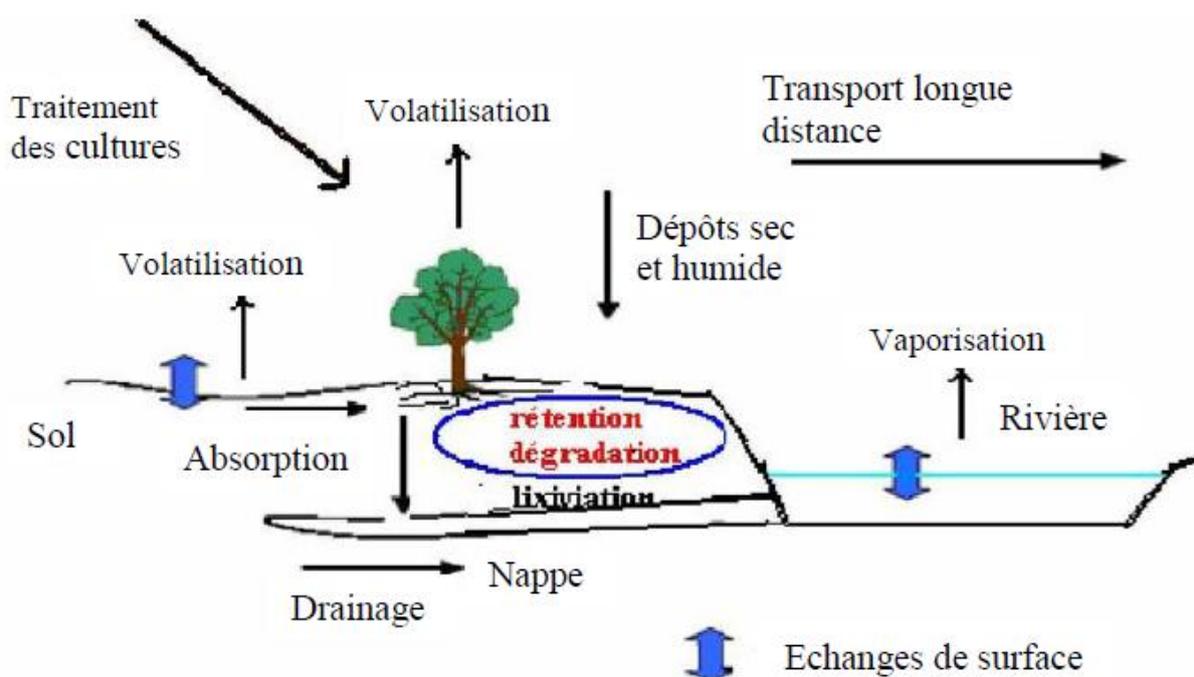
En ce qui concerne les interactions des molécules organiques avec les molécules d'eau, deux catégories de pesticides sont distinguées :

- Les pesticides ionisables, très solubles dans l'eau quand ils sont sous la forme d'anions ou de cations, ce sont :

- soit des molécules d'acides faibles possédant notamment des groupes fonctionnels carboxylique, phénolique et thiol, qui s'ionisent par dissolution ionique pour donner des anions,
  - soit des molécules de bases faibles possédant des groupes fonctionnels azotés qui s'ionisent par protonation pour donner des cations.
- Les pesticides non ionisables, beaucoup moins solubles que les précédents et dont la solubilité dépend de la présence de groupes fonctionnels hydrophiles et hydrophobes.

### I.6. Devenir des pesticides

Appliqués au sol, une partie des pesticides est emportée par volatilisation dans l'air, par ruissellement par les pluies ou par lessivage dans les couches inférieures du sol; l'autre partie est adsorbée par les constituants solides du sol avant de subir une dégradation biochimique et microbiologique [6]. La figure I. 2 illustre le parcours effectué par certains pesticides dans l'environnement.



**Figure I. 2** Parcours effectué par certains pesticides dans l'environnement. [7]

Le transport et la dispersion des pesticides dans l'environnement sont fonction de leurs propriétés chimiques. La volatilité, la solubilité dans l'eau et la capacité à se fixer aux matières complexantes ou autres du sol (coefficient de partage carbone organique-eau  $K_{oc}$ ) déterminent le compartiment dans lequel le produit va se retrouver préférentiellement. Ils dépendent également des propriétés du sol, des paramètres et techniques d'application. [7]

### I.6.1. La rétention :

La rétention est le résultat global d'un ensemble de processus élémentaires, impliquant des interactions avec les constituants organiques et minéraux des sols. La rétention des pesticides dans les sols est un phénomène fondamental conditionnant leur caractère polluant et/ou leur manifestation.[8][9].

La rétention est un processus qui immobilise plus ou moins longtemps les molécules de pesticides ou leurs produits de transformation. Elle est due à des phénomènes physicochimiques et à des phénomènes biologiques.

#### I.6.1.1. La rétention physico-chimique :

Elle est le résultat de :

- La diffusion moléculaire dans les pores où la phase liquide est immobile,
- L'association avec la phase solide résultant soit d'interactions physiques avec les surfaces, c'est l'adsorption, soit de réactions chimiques avec des constituants organiques, c'est la stabilisation chimique,
- La diffusion moléculaire dans les nanopores et en particulier ceux qui sont situés dans les assemblages de minéraux argileux et dans la matière organique ; c'est la stabilisation physique.

#### I.6.1.2. La rétention biologique :

Elle est le résultat de la biosorption qui est due à des interactions physiques avec les parois des microorganismes du sol et des racines et de l'absorption par les organismes vivants.

L'augmentation de la rétention des pesticides diminue les risques de transfert, mais peut rendre difficile leur biodégradation [10].

### I.6.2. Les transferts :

Apportés sur ou dans le sol, les pesticides ne restent pas immobiles mais se déplacent sous l'effet de plusieurs phénomènes de transport. Ces déplacements ont lieu sur des distances et avec des vitesses très variables [8] ; ils peuvent être transférés vers l'atmosphère (volatilisation), verticalement vers les eaux souterraines (lixiviation ou lessivage) et latéralement vers les eaux de surfaces (ruissellement) [11].

#### I.6.2.1. Transferts vers l'atmosphère :

La volatilisation (dispersion de résidus dans l'atmosphère) est l'un des principaux processus par lequel les pesticides sont exportés en dehors de la zone cible après application.

La volatilisation peut se produire au moment de l'application, depuis la surface du sol ou même depuis l'intérieur du sol (molécule très volatile).

Les facteurs importants contrôlant le taux de volatilisation sont :

- Les propriétés chimiques du pesticide (pression de vapeur saturante, coefficient d'Henry, coefficient de partition sol-eau et taux de dégradation dans le sol) et de sa formulation ;
- Les facteurs liés aux usages et pratiques phytosanitaires (modes d'épandages)

- L'environnement du sol (valeur et variation de l'humidité et du flux d'eau dans la couche contenant la molécule) ;
- Les facteurs climatologiques (température, précipitations, rayonnement solaire incident et vitesse du vent).

Durant l'application ou après le traitement et suivant les conditions météorologiques, 25 à 75 % des produits phytosanitaires n'atteignent pas la cible prévue et se retrouvent dans l'atmosphère, ce taux pouvant même atteindre 90 %. [12]

Une fois dans l'atmosphère, ces composés peuvent être dispersés par les courants d'air et se redéposé sur l'eau et les surfaces terrestres, souvent à des distances considérables de leurs origines. Toutefois, le devenir de ces molécules reste sujet à caution.

Pour les herbicides plus récents, seulement 15 % environ de l'application à la parcelle sont volatilisés. Cette volatilisation est accrue par des conditions thermiques élevées et l'absence de précautions.[13]

### **I.6.2.2. Transferts vers les eaux souterraines:**

Le transfert des produits phytosanitaires vers les eaux souterraines appelé lixiviation ou lessivage, ou percolation, concerne les molécules qui sont en solution dans la phase aqueuse du sol ou qui sont adsorbées sur les particules solides véhiculées par un flux d'eau vertical.

Les quantités de pesticide transférées vers les eaux souterraines dépendent de divers facteurs relatifs aux propriétés physico-chimiques des produits phytosanitaires et des sols, ainsi que des pratiques culturales et des conditions climatiques. [14]

Ces transferts de solutés varient non seulement en fonction des caractéristiques du produit phytosanitaire et des propriétés du sol mais aussi en fonction de la durée séparant le traitement et les premières pluies. Ils sont également liés au régime pluviométrique, à l'épaisseur de la zone non saturée du sol, aux interactions nappes-rivières et à la nature et à la vitesse des écoulements à travers le sol et le sous-sol.[15]

De façon générale, plus un pesticide est adsorbé au niveau du sol, moins son transport est important. Ainsi, la MO est considérée comme l'un des facteurs-clefs influençant la mobilité des pesticides. En effet, de nombreux travaux ont montré que la MO réduit et retarde la migration des pesticides vers les eaux souterraines [16]. Des études sur l'atrazine ont montré que les quantités lessivées sont plus importantes dans les sols pauvres en MO. Les auteurs ont attribué ces transferts à une plus grande conductivité hydraulique et une plus faible adsorption de l'atrazine au niveau de ces sols.[17]

La rétention des pesticides par les sols est classiquement caractérisée à l'aide du coefficient  $K_d$  dit de partage ou de distribution du pesticide entre les phases liquide et solide.

Ce coefficient est fréquemment normalisé par rapport à la teneur en carbone organique du sol, pour donner ainsi le coefficient  $K_{oc}$ , traduisant le partage du pesticide entre la solution et le carbone organique du sol.

Les paramètres de demi-vie  $DT_{50}$  (temps nécessaire pour réduire de moitié une quantité initiale donnée de pesticide dans des conditions données) et  $K_{oc}$  sont souvent pris en compte pour estimer le risque de transfert des pesticides vers les eaux souterraines. Par exemple, l'indice de mobilité GUS (Groundwater Ubiquity Score) proposé par Gustafson se base sur ces deux paramètres pour classer les pesticides selon le risque de lixiviation qu'ils présentent :

$$GUS = \log DT_{50} (4 - \log K_{oc}) \quad (\text{Eq.I.1})$$

- ✓ Si GUS > 2,8 risque de contamination des nappes phréatiques élevé.
- ✓ Si GUS < 1,8 risque de contamination faible.

### I.6.2.3. Transferts vers les eaux de surfaces:

La possibilité de transfert d'un pesticide du sol vers les eaux de surface dépend essentiellement de sa disponibilité dans le sol au cours du temps. Elle est conditionnée en grande partie par les phénomènes de rétention et de transformation chimique et biologique et par la dynamique de l'eau en surface, c'est-à-dire l'intensité et la durée de la pluie.[18]

Le transfert vers les eaux de surface se fait essentiellement par ruissellement. Celui-ci survient lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration du sol. Les molécules peuvent alors être exportées dissoutes ou adsorbées sur des sols érodés.

Les pertes de la plupart des herbicides lors des phénomènes de ruissellement et d'érosion se font en solution, le transport particulaire n'étant important que pour les pesticides les plus retenus (hydrophobes ou peu solubles dans l'eau). [19]

Plusieurs paramètres déterminent le ruissellement : la nature du sol, la sorption de chaque matière active et la durée séparant le traitement et les premières pluies. Le risque maximal de contamination des eaux de surface correspond aux fortes averses qui se produisent peu de temps après l'application ou l'arrivée du produit au sol, c'est-à-dire quand la disponibilité de la substance est maximale dans le sol et que les états de surface du sol sont potentiellement dégradés. Les pertes durant ces quelques événements peuvent constituer la majorité de la contamination annuelle. Elles sont comprises entre 0,4 et 30% suivant le sol et la molécule, mais peuvent atteindre 90% suite à des pluies violentes sur des parcelles juste traitées. [20]

### I.6.2 Dégradation des herbicides :

La rétention et la dégradation des pesticides dans les sols sont les deux phénomènes fondamentaux conditionnant leur caractère polluant. La part du pesticide la plus mobile est celle localisée dans les phases liquide et air et elle constitue la part directement disponible pour la dégradation par les micro-organismes du sol. L'augmentation de la rétention des herbicides diminue les risques de transfert, mais peut rendre difficile leur biodégradation. [5]

La dégradation est la résultante d'un ensemble de processus de dissipation, physicochimiques et biologiques, qui font diminuer la concentration du pesticide en fonction de cinétiques caractéristiques du pesticide et du milieu. Elle est due à de nombreuses transformations chimiques qui modifient la composition et la structure des molécules. Ces modifications peuvent se limiter à l'élimination d'un groupe fonctionnel, conduire à divers produits de transformation ou aboutir à une minéralisation totale. Les transformations sont de natures abiotiques et biotiques et ont lieu simultanément dans l'environnement. [6]

#### I.6.2.1 Réactions abiotiques

Elles sont dues à des réactions chimiques qui ne sont pas catalysées par des systèmes enzymatiques. Elles comprennent les réactions d'oxydation, de réduction, d'hydrolyse (acide, alcaline ou neutre), de conjugaison et de photodégradation ou photolyse. Les conditions environnementales majeures qui affectent ces transformations sont le pH, la température, le taux de particules organiques dissoutes et en suspension, la présence d'ions métalliques et l'état redox. Les oxydations abiotiques ont généralement lieu dans les eaux de surface et les réductions dans les eaux anaérobiques et au fond des sédiments.

### **I.6.2.2 Transformations biotiques :**

La dégradation biotique est due à l'action de divers organismes vivants et elle résulte de transformations chimiques dues à des systèmes enzymatiques. Elle a lieu en général dans les milieux naturels comme les sols, les sédiments et les eaux.

Il est souvent supposé que les transformations biotiques contrôlent la dégradation des pesticides, car la grande diversité métabolique des microorganismes du sol, leur capacité d'adaptation et de mutation leur permettent de se développer dans des conditions très variées et de dégrader pratiquement toutes les molécules [21]. Toutefois, ces transformations n'aboutissent pas à des molécules inorganiques et peuvent se terminer par la formation d'un métabolite qui n'est pas dégradé. [5]

Le métabolisme microbien est, dans beaucoup de cas, le mécanisme clef dans la transformation ou la dégradation des pesticides [21]. Plusieurs processus sont impliqués dans la transformation microbienne des herbicides telles que la biodégradation, le co-métabolisme, la conjugaison et l'accumulation.

### **I.7. Pollution et impact:**

Les pesticides sont des produits généralement toxiques pour les organismes vivants. Ils se dégradent difficilement alors qu'ils deviennent à long terme des agents toxiques s'accumulant fréquemment dans les organismes vivants. Cette toxicité liée à leur structure moléculaire, ne se limite pas en effet aux seules espèces que l'on souhaite éliminer. Beaucoup de pesticides ne sont pas mutagènes mais deviennent actifs après leurs transformations métaboliques [22] [23].

La plupart des formulations de pesticides contiennent, en plus des matières actives, divers adjuvants, solvants, etc....

Ces matières inertes ne sont généralement pas prises en considération dans l'étude des effets du produit sur la santé alors qu'elles constituent fréquemment une proportion élevée du pesticide commercial et peuvent avoir des effets nocifs plus grave que ceux des matières actives [23].

#### **I.7.1. Effets sur la santé humaine :**

L'exposition aux produits phytosanitaires peut occasionner deux types de dangers sur la santé humaine : effets aigus ou effets chroniques [13]. Les effets aigus et leurs conséquences sont le plus souvent immédiats alors que les effets chroniques se développent sur une période plus longue et peuvent persister longtemps après le fait [4]. Ces effets sont de nature cancérigène, affectant la reproduction et le développement ou sont d'ordres neurologiques [15], causants ainsi des troubles psychologiques, en particulier des syndromes dépressifs. La survenue de suicides dans une cohorte d'agriculteurs serait liée à l'utilisation des produits phytosanitaires [6]. Le malaise, la fatigue, le vertige arrivent généralement aux individus empoisonnés par ces composés [24].

Le nombre d'empoisonnements par les pesticides est estimé à trois millions de cas tous les ans avec environ 220000 décès [24] [25]. L'intensité du risque d'empoisonnement est fonction du degré d'exposition des populations (profession, proximité des zones traitées, consommation d'eaux et d'aliments contaminés) ou de leur sensibilité (âge) [21].

Les paramètres principaux qui contrôlent la toxicité des résidus de pesticides dans l'eau ou les aliments pour un pesticide et une matrice donnés sont :

- **LMR** (Limite Maximale de Résidu) : c'est la teneur à ne pas dépasser dans un produit alimentaire (en mg.kg<sup>-1</sup> de produit ou en ppm).
- **DL 50** (Dose Létale 50) : c'est la quantité de substance nécessaire pour tuer 50 % des animaux d'un lot expérimental (en mg.Kg<sup>-1</sup>).
- **DJA** (Dose Journalière Acceptable) : c'est la dose d'un produit qui peut être ingérée quotidiennement par un individu pendant sa vie entière (en mg. Kg<sup>-1</sup>. p. c.) [10].
- **DES** (Dose sans effet) : c'est la dose la plus élevée d'un produit qui ne provoque aucun effet décelable chez les animaux à expérimentation (en mg. Kg<sup>-1</sup>) [18] [22].

### I.7.2. Effets sur l'environnement :

L'homme n'est pas le seul organisme vivant à subir les effets des pesticides ; les autres organismes animaux et végétaux sont également exposés [5].

Les pesticides ont entraîné une simplification maximale de l'écosystème parcelle. Plusieurs groupes de produits utilisés en grandes cultures ont des effets variables sur la biodiversité. Leurs effets selon le type sont [27] :

- **Les herbicides** : Ils permettent qu'à la seule plante cultivée de subsister, et ceci contribue à la perte de la biodiversité de manière générale, mais aussi de la faune et de la flore. En effet, de nombreux insectes sont associés aux mauvaises herbes qu'on élimine en utilisant les herbicide et donc nous auront détruit le micro habitat de ces insectes.

- **Les insecticide** : Ils causent la mortalité d'espèces non parasites et d'espèces bénéfiques pour les plantes telles que les carabes.

- **Les fongicides** : Ils ont un effet négatif non négligeable, ils facilite le passage à la quasi monoculture en permettant de se passer de la rotation culturale, nécessaire jusqu'alors pour diminuer la pression des parasites.

### I.8) Cadre législative :

Le contrôle des produits phytosanitaires s'est établi peu à peu en fonction de la politique de développement prôné par le pays et par la disponibilité des moyens.

En Algérie, ce contrôle a connu une évolution dans le temps. La promulgation de la loi n° 87-17 du 01.08.1987 relative à la protection phytosanitaire a permis d'édicter les mesures relatives à la fabrication, l'étiquetage, l'entreposage, la distribution, la commercialisation et l'utilisation des produits phytosanitaires à usage agricole. Au terme de la loi, aucun produit phytosanitaire ne peut être commercialisé, importé ou fabriqué s'il n'a pas fait l'objet d'une homologation.

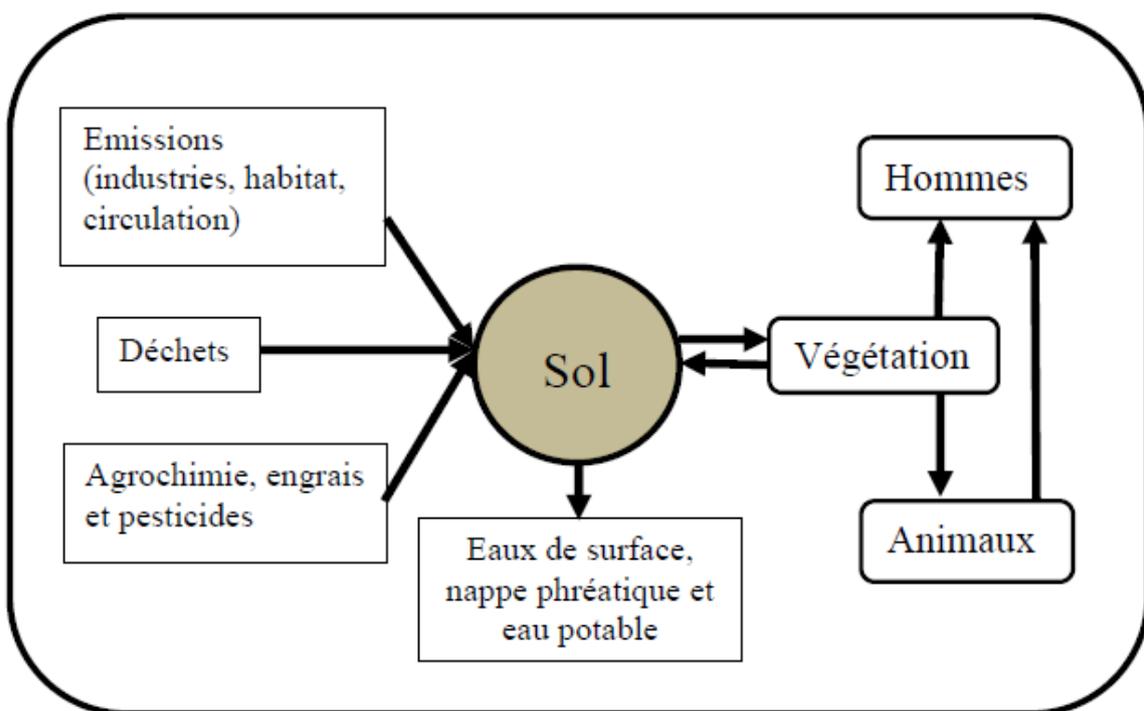
L'homologation des produits phytosanitaires a été instituée en Algérie par le décret exécutif n° 95-405 du 02.12.1995 [26].

# CHAPITRE II

## Le sol

### II.1. Définitions:

Le sol est certainement la composante de l'environnement la plus mal connue alors qu'il constitue le support direct de la plupart des activités humaines comme l'illustre la figure II.1 [28].



**Figure II.1.** Le sol, réservoir, tampon et transformateur des polluants [28]

**Définition 1 :** Le sol est la couche externe de la croûte terrestre caractérisée par la présence de nombreux êtres vivants. Il est le siège d'un échange intense de matière et d'énergie entre l'air, l'eau et les roches. Le sol, en tant que partie de l'écosystème terrestre, occupe une position clé dans les cycles globaux des matières [29].

**Définition 2 :** Le sol est le produit, remanié et organisé, de l'altération de la couche superficielle de la croûte terrestre, essentiellement sous l'action d'agents climatiques et biologiques [30].

**Définition 3 :** le sol est un objet naturel, c'est-à-dire, dont l'existence initiale ne dépend pas de l'homme, continu et tridimensionnel, pouvant être nommé « couverture pédologique » [31].

### **II.2. Les constituants du sol :**

Le sol est un milieu hétérogène, complexe, variable dans ses constituants physiques, chimiques et biologiques [32]. Il est composé de trois phases : solide, liquide et gazeuse [33].

#### **II. 2. 1. Composition de la phase solide du sol :**

La phase solide du sol est en général majoritairement minérale mais comprend toujours une fraction organique dont le taux varie selon le type de sol et les conditions de pédogenèse.

Les sols cultivés présentent des taux de matière organique compris dans une gamme allant de moins de 1% à 20% de la masse du sol. [34]

##### **II. 2. 1. 1. La fraction minérale :**

Les constituants minéraux du sol sont issus de la dégradation des roches. Celle-ci se fait par désagrégation mécanique, ce qui donne des fragments, et par altération chimique, ce qui produit des ions solubles (cations alcalins et alcalino-terreux, silicates,...), des gels colloïdaux, des argiles et autres constituants, cristallins ou amorphes (hydroxydes de fer, d'aluminium, de manganèse et de silicium).

La fraction minérale définit la texture du sol. Elle est constituée de sable, de limon et d'argile dont on peut connaître les proportions respectives grâce à l'analyse granulométrique qui les classifie selon leur taille, puis on détermine la texture du sol grâce au triangle de texture.

La fraction minérale du sol est composée de minéraux secondaires (argiles, oxydes libres) issus de l'altération de minéraux primaires (exemple quartz).

Les minéraux sont classés suivant les éléments chimiques qui les composent. Les plus fréquents sont les oxydes et les silicates. Ces minéraux ne se rencontrent pas isolément, mais dans des roches composées d'un mélange de minéraux (sable, oxydes de fer, calcaire) et de débris végétaux.

##### **a. Les argiles**

Le terme d'argile correspond à deux définitions. Au sens agronomique, l'argile est la fraction minérale du sol dont les particules ont une taille  $< 2 \mu\text{m}$ . Au sens minéralogique, les argiles sont des phyllosilicates dont l'unité de base est le feuillet.

Les argiles sont des aluminosilicates appartenant à la famille des phyllosilicates hydratés [34]. Leurs structures cristallines conditionnent leurs propriétés chimiques. Elles sont constituées d'une superposition de feuillets de 7 à 10 Å d'épaisseur. Ces feuillets sont composés de couches de tétraèdres  $\text{SiO}_4$  et de couches d'octaèdres  $\text{AlO}_6$  en alternance. Ils sont séparés par des espaces inter-foliaires dans lesquels se placent divers cations. Quatre ions principaux forment la trame structurale des feuillets ( $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{O}^{2-}$  et  $\text{OH}^-$ ). Les différentes argiles se distinguent par la structure et la composition chimique des feuillets et par les

espaces inter-foliaires qui varient : espacement et nature des éléments intercalés (eau, cations divers tels que  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ).

Cette trame feuilletée explique leur structure fibreuse et leurs qualités d'adsorption. Elle détermine d'une manière décisive le comportement physique du sol puisqu'elle exhibe la surface spécifique la plus grande. Cette surface spécifique, déterminée par l'ensemble des surfaces externes et/ou internes des feuillets, contribue avec la Capacité d'Echange Cationique (CEC) à la réactivité des argiles vis-à-vis des molécules présentes dans la solution du sol.

Les minéraux les plus communs dans les argiles sont [35]:

- La kaolinite;
- La montmorillonite, appartenant à la famille des smectites, dans laquelle plusieurs couches d'eau peuvent prendre place entre deux feuillets ;
- L'illite, qui est la plus répandue ;
- Les chlorites, pour lesquelles l'espace inter-foliaire est garni par une couche composée
- Magnésium et d'ions hydroxydes.

Les particules d'argiles absorbent l'eau et donc provoquent le gonflement et le retrait du sol selon qu'il se mouille ou se dessèche. La plupart de celles-ci sont chargées négativement.

La présence de ces charges électriques va conditionner la réactivité physico-chimique des constituants avec les ions en solution ou d'autres constituants (molécules organiques)[36].

Les minéraux argileux diffèrent quelque peu dans la densité de leur charge superficielle (c'est-à-dire le nombre de sites d'échange par unité de surface de la particule). Ils peuvent fixer puis relarguer des cations métalliques: la CEC, est faible pour l'illite, la chlorite et la kaolinite mais importante pour la vermiculite et les smectites. [36][34]

### **b. Les sables (silices) et les limons :**

Ils présentent une granulométrie plus grossière que les argiles (diamètre des grains variant de 0,002 mm à 2 mm). Les sables et les limons jouent un rôle important dans l'édification de la structure des sols dont ils constituent le squelette. Les sols riches en sable et en limon sont caractérisés par leur perméabilité à l'eau et à l'air.

### **c. Les oxydes et hydroxydes :**

Les oxydes et oxyhydroxydes de fer et d'aluminium essentiellement, mais aussi de manganèse, constituent avec les argiles une fraction importante du complexe d'altération du sol. Ces éléments sont libérés au cours de l'altération de minéraux ferro-magnésiens et argileux sous forme soluble ( $Fe^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ), puis précipitent en minéraux amorphes ou cristallisés. Les groupements OH présents à la surface des oxydes et oxyhydroxydes métalliques peuvent s'ioniser, conférant ainsi à ces minéraux des charges de surface variables en fonction du pH. [34]

### **d. Les métaux ou éléments à l'état de traces (ETM) :**

Les éléments métalliques sont, sous différentes formes, toujours présents au sein de l'environnement. A l'état de traces (appelés alors Eléments Traces Métalliques ou ETM), ils sont nécessaires, voire indispensables, aux êtres vivants. Mais à concentration élevée, ils présentent une toxicité plus ou moins forte. Leur présence résulte en partie de causes

naturelles (érosion des sols et de la roche mère, volcanisme, lessivages de terrains miniers et feux de forêts) mais également des activités humaines (sites industriels, activité agricole).[36]

### II.2. 1. 2. La fraction organique : [37][38][39]

Les sols contiennent des matières organiques qui proviennent de la dégradation des débris végétaux et animaux à leur surface (feuilles mortes, résidus de cultures, cadavres d'animaux par exemple), par les microorganismes (bactéries et champignons).

La fraction organique est composée d'éléments principaux (C, H, O, N) et d'éléments secondaires (S, P, K, Ca, Mg).

La teneur des sols en MO est très variable selon les conditions de leur formation et du type de sol et est très étroitement liée aux conditions de la pédogenèse. Les sols cultivés présentent cependant une gamme de richesse en MO plus limitée, de 0 à 20 % en masse, et beaucoup ont une teneur comprise entre 1 et 10 %. Les MO ne sont pas réparties uniformément dans le sol; leur teneur est toujours plus grande en surface et décroît en profondeur.[41]

La difficulté majeure rencontrée lors de l'étude de la MO des sols, est, sa structure chimique très incertaine. Il est en effet impossible aujourd'hui de donner une structure moléculaire développée exacte de l'ensemble des composés qui la constituent. Elle est constituée d'une fraction dite libre (résidus animaux et végétaux, et biomasse microbienne) et d'une fraction dite liée formée de produits relativement stables regroupés sous le terme d'humus.

Cependant, cette dernière fraction représente la majeure partie (60 à 70%) de la matière organique des sols [40]. Elle contient les constituants organiques les plus importants pour les propriétés des sols, les substances humiques (SH) [17] [38] qui sont des macromolécules acides de composition et structure chimique complexes et très hétérogènes contenant des groupements aliphatiques, aromatiques, acides carboxyliques, phénoliques et leurs dérivés. [36]

La formation des SH implique des processus d'humification qui ont lieu dans les sols, dans les sédiments et dans les eaux naturelles [37].

Le facteur principal contrôlant la composition de la MO est la végétation en place, ce qui confère aux SH une composition variable d'un sol à l'autre. Les SH sont composées de divers groupements : aliphatiques, aromatiques, acides carboxyliques, phénoliques et leurs dérivés [38].

Selon leur solubilité dans l'eau, les SH sont classées en trois fractions distinctes : [37][38][39]

#### a. Les acides humiques :

Les acides humiques constituent une des fractions les plus importantes de l'humus. Ils sont peu mobiles, mais sont capables de se lier plus ou moins fortement selon leur type avec d'autres corps présents dans le sol et en particulier avec l'argile. Dans ce cas, on parle d'*acides humiques gris* ; le complexe formé avec l'argile ou complexe argilo-humique est très stable Ils sont solubles en milieu alcalin et insolubles en milieu fortement acide [4]

#### b. Les acides fulviques :

Les acides fulviques constituent une des fractions les plus importantes de l'humus. Ils sont très mobiles et très vite entraînés par les eaux d'infiltration, qu'ils chargent de l'argile et du fer auxquels ils sont liés. Ce sont, par ce mécanisme, les principaux agents du lessivage du fer, ils sont solubles dans toute la gamme de pH [4]

### c. Les humines :

Les humines ressemblent beaucoup aux acides humiques. Elles n'en diffèrent que par le fait qu'elles se trouvent en association très étroite avec les matériaux inorganiques. Les humines correspondent donc à la partie non-extractible de la fraction humifiée. Ils sont insolubles à tous les pH.[4]

Dans le sol, les substances humiques sont en général associées aux argiles, formant ainsi le complexe argilo-humique qui joue un rôle essentiel dans la structuration du sol et dans la détermination de ses propriétés physicochimiques. La liaison entre les composés organiques et argileux au niveau du complexe argilo-humique est assurée par des ponts cationiques impliquant des cations tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$ . [42][43]

## II. 2. 2. Composition de la phase liquide du sol

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais une solution dont la composition est complexe et très variable, souvent désignée par le terme "solution du sol". Cette dernière occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol et est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et inorganiques dissoutes et des particules en suspension. La composition de la solution du sol varie selon celle du sol mais également en fonction du climat, des apports anthropiques (exemple : les fertilisants et les produits de traitement phytosanitaire) et de l'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne).

Une dynamique d'échange existe en permanence entre les ions ou molécules retenus par la phase solide du sol et ceux présents dans la solution du sol.

## II. 2. 3. Composition de la phase gazeuse du sol

La phase gazeuse du sol, appelée également atmosphère du sol, a une composition souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent sont l'azote (78 à 80%), l'oxygène (18 à 20%) et le dioxyde de carbone (0,2 à 3%). Quoique faible, la quantité de gaz carbonique présente dans le sol est nettement supérieure à celle présente dans l'air atmosphérique (0,03%) à cause de la respiration des organismes vivants du sol et de la minéralisation de la matière organique. D'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol [24].

Ces gaz peuvent exister dans le sol soit à l'état libre, soit dissous dans la solution du sol. Cependant, dans certaines conditions (d'hydromorphie par exemple), la phase gazeuse peut être absente ; tout l'espace poral du sol est alors occupé par l'eau et le sol est dit saturé. [36][39]

### **II.3. Propriétés du sol :**

#### **II.3.1. Propriétés physiques :**

Les proportions des différentes tailles de particules d'un sol en déterminent sa texture et l'arrangement de ces particules définit sa structure. Cette dernière, combinée à la matière organique, permet de définir la matrice poreuse caractéristique du réseau poral (porosité) au travers duquel se feront les mouvements de fluides.

##### **II.3. 1. 1. La texture: [3]**

La texture reflète la part respective des constituants triés selon leur taille. La texture minérale est la proportion des sables, limons et argiles mesurés par l'analyse dite granulométrique.

En fonction de la taille des particules, on distingue 5 types de fractions comme le résume le tableau II.1 et la figure II.2 ci-dessous:

**Tableau II.1.** Type de particule en fonction de la taille [3]

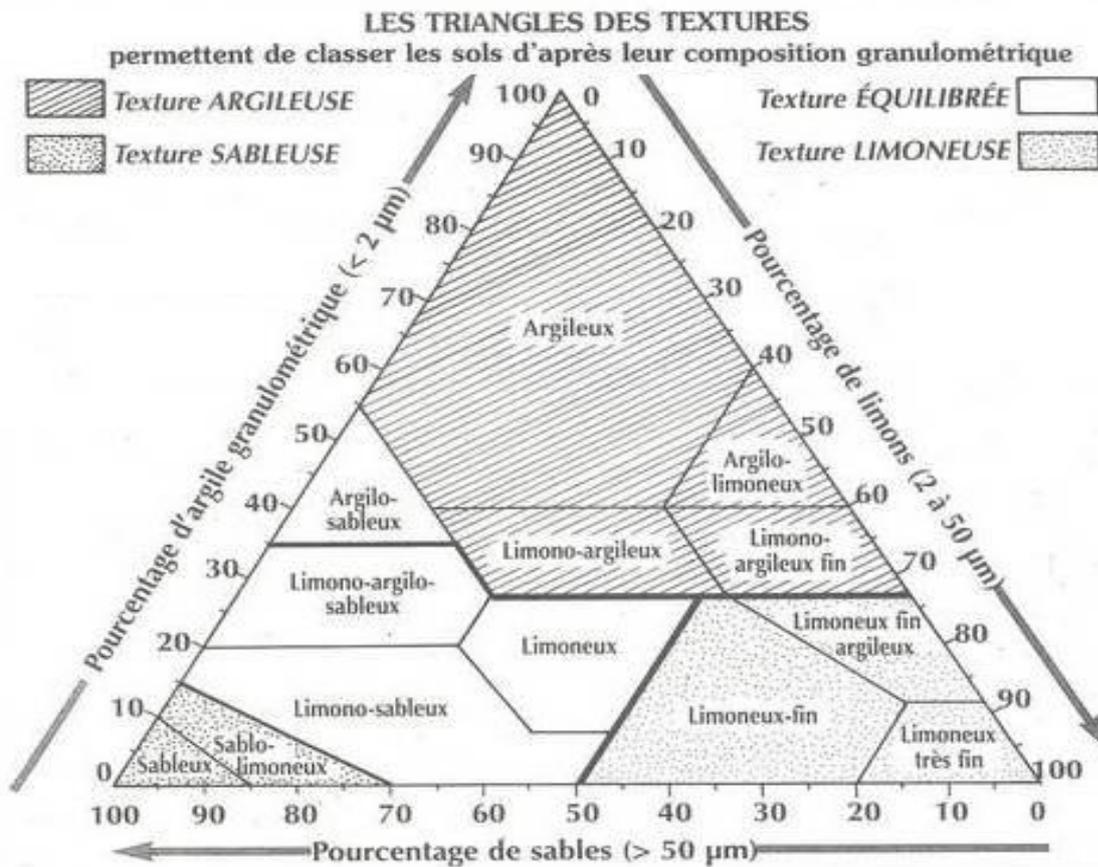
Type	Taille
Argile	0 à 2 $\mu$ m
Les limons fin	2 à 20 $\mu$ m
Les limons grossier	20 à 50 $\mu$ m
Le sable fin	50 à 200 $\mu$ m
Le sable grossier	200 à 250 $\mu$ m



**Figure II.2 :** Classement des particules minérales [44]

La texture d'un sol s'exprime par un terme simple (sableux, limoneux, argileux) ou composé (limono sableux, limono-argileux, limono-argilo-sableux...), car tous les sols ne sont pas que argileux ou limoneux mais sont plutôt un mélange d'argile, de limon et de sable.

Pour donner les pourcentages exacts du mélange, réaliser une analyse granulométrique s'avère être indispensable, ceci permettra ensuite de déduire la désignation du sol sur un triangle des textures au sein duquel des catégories sont délimitées comme le montre la figure II.3 ci dessous.



**Figure II.3 :** Triangle des textures minérales [44]

La texture conditionne directement la structure du sol, et donc la porosité et le régime hydrique. En particulier, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilohumique, la capacité d'échange, la fertilité et la profondeur d'enracinement. La texture est une propriété stable, ne variant qu'en fonction de l'évolution à long terme du sol. [45]

### II. 3. 1. 2. La structure :

La structure d'un sol désigne le mode d'assemblage, à un moment donné, des constituants d'un sol. Elle est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture, du taux d'humidité ou de matière organique et, dans une large mesure, de l'activité de la faune.

Les changements affectant la structure du sol modifient la circulation de l'eau. Celle-ci est très rapide dans les structures particulières grossières, moyenne dans les formes grumeleuses, presque nulle en cas de forte compaction. [45]

Dans un sol bien structuré, les particules de sable et de limon sont liées en agrégats (petites mottes) par l'argile, l'humus et le calcium. Les grands espaces vides entre les agrégats (macropores) permettent à l'eau et à l'air de circuler et aux racines de s'enfoncer dans le sol.

Les petits espaces vides (micropores) retiennent quant à eux l'eau dont les plantes ont besoin. Cette structure « idéale » est appelée structure grumeleuse.

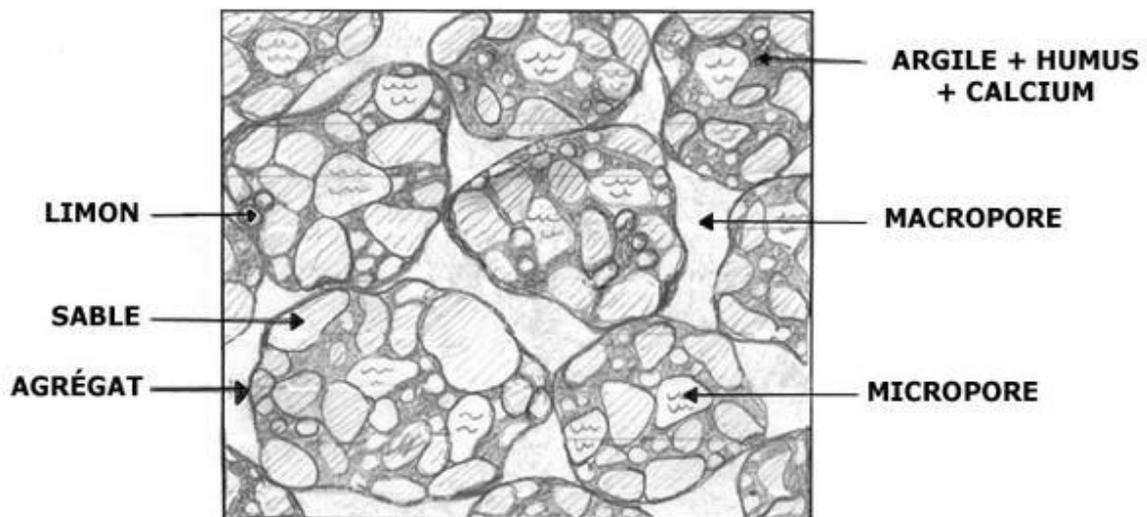


Figure II.4 : Structure du sol [46]

### II. 3. 1. 3. La porosité :

La porosité caractérise la proportion du volume de vide (pores) dans le sol. Selon le degré d'humectation, les vides du sol sont occupés en majeure partie soit par l'eau, soit par l'air.

Leur ensemble représente la porosité. Cette dernière résulte en fait de l'assemblage initial des constituants modifié par la différenciation pédologique. Elle donne une bonne idée de l'état structural. Selon la taille des pores, elle se subdivise en macroporosité (vides > 50  $\mu\text{m}$ ), en mésoporosité ou porosité capillaire (vides de 0,2 à 50  $\mu\text{m}$ ) et en microporosité (vides < 0,2  $\mu\text{m}$ ). La mésoporosité dépend beaucoup de la texture, la macroporosité surtout de la structure.

La porosité renseigne sur les capacités hydriques ou atmosphériques d'un sol, en volume ou en flux. Elle varie de 30 % dans des sols à texture très fine à 80 % dans les tourbes. [45]

La porosité des argiles est très variable car le sol se gonfle ou se rétracte alternativement, s'aggrave, se disperse, se compacte et se fendille.

### **II. 3. 1. 4. Le régime hydrique du sol :**

Le régime hydrique du sol dépend directement des trois précédentes propriétés à savoir:

- La texture : Elle détermine les forces de rétention de l'eau,
- La structure : Elle influence la circulation de l'eau,
- La porosité : Elle définit le volume du réservoir hydrique du sol.

### **II.3.2. Propriétés chimiques :**

#### **II.3. 2. 1. Le complexe argilo-humique [47]**

C'est le résultat de la présence et de l'association de trois composants du sol : de l'argile, de l'humus, et du Calcium.

Les ions Calcium permettent de faire la liaison entre l'argile et l'humus.

Si l'humus est présent en trop faible quantité, l'excédent d'argile entraînera un sol compact, et trop peu de CAH se formera. Si le Calcium est déficitaire, alors même en présence d'humus en quantité suffisante, le CAH ne se formera pas et l'argile sera dispersé.

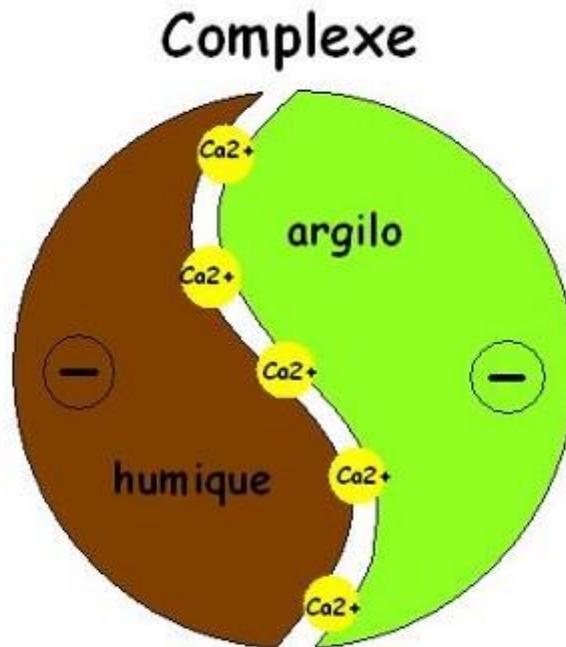


Figure II.5 Schéma du complexe argilo humique(CAH) [47]

Quand tous les ingrédients sont présents, alors le CAH se forme, et il va agir à deux niveaux :

- Sur la structure du sol, qui devient beaucoup plus malléable, un sol fragmentaire composé de "boulettes" de terre, au lieu d'un sol trop particulaire qui file comme du sable entre les doigts, ou au contraire trop compact pour y planter quoi que ce soit.
- Sur la chimie du sol, en retenant piégé un grand nombre d'ions minéraux, avec toutefois un bémol : le CAH est de charge négative et aura donc une affinité plus grande pour les ions de charge positive, ce qui explique le lessivage plus important des ions négatifs comme les nitrates.

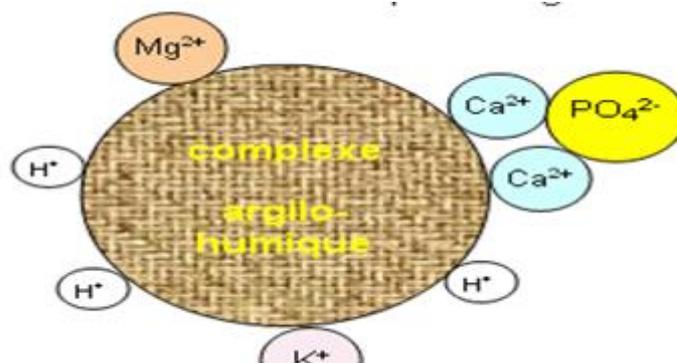


Figure II.6 Fixation des ions sur le complexe argilo humique [48]

Les oxydes peuvent également être fortement liés à la matière organique. Ils participent aux capacités d'échange du sol à des niveaux parfois importants. Ils jouent donc un rôle majeur dans la rétention des polluants dans les sols.

### II. 3. 2. 2. Le pH et le pouvoir tampon des sols [45]:

Le pH des sols est une propriété chimique essentielle qui détermine non seulement le comportement des éléments chimiques, mais aussi celui des êtres vivants.

L'acidité d'échange est évaluée par la mesure du  $pH_{KCl}$  (pH d'une suspension de sol dans une solution normale de KCl). Il tient compte des ions  $H^+$  initialement à l'état dissocié et de ceux échangés.

On détermine aussi le  $pH_{eau}$  par analyse d'un échantillon placé dans de l'eau distillée. Dans ce cas, l'électrode ne mesure que les protons de la solution du sol, puisque aucun échange n'est effectué ; on parle alors d'acidité actuelle ou active. Le  $pH_{eau}$  est ainsi toujours un peu plus élevé que le  $pH_{KCl}$  de 0,2 à 1,5 unité selon les cas.

Le  $pH_{KCl}$  est le vrai pH du sol, puisqu'il intègre dans une certaine mesure les caractères physico-chimiques des solides du sol [45].

Le pH du sol peut avoir des effets directs sur un composé chimique en contact avec lui si la stabilité de celui-ci est dépendante du pH. Ce dernier peut également avoir des effets indirects en modifiant les propriétés des composantes du sol.

Le pouvoir tampon des sols constitue une autre propriété importante des sols qui va déterminer leur aptitude à s'opposer plus ou moins efficacement aux variations brutales du pH, lorsqu'on lui incorpore, soit des acides, soit des bases.

# Chapitre III

## L'adsorption des pesticides

### III.1. Définition

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé adsorbat, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé adsorbant. Ce phénomène est dû à l'existence de forces d'interactions entre le solide et les molécules. La nature de ces interactions diffère selon le couple adsorbat/adsorbant [48].

### III.2. Types d'adsorption

Selon la nature des phases en contact, on peut rencontrer différents types d'interfaces (gaz-solide, liquide-solide ou gaz-liquide).

Selon la quantité d'énergie dégagée au cours l'adsorption et la nature des forces mises en jeu, deux types d'adsorptions peuvent être mis en évidence: adsorption chimique ou chimisorption et adsorption physique ou physisorption [49].

#### III.2.1. Adsorption physique

L'adsorption physique (ou physisorption) est attribuable à l'attraction électrostatique d'un soluté par une surface polarisée, afin de maintenir l'électro neutralité. Les énergies de liaisons mises en jeu sont relativement faibles, du type force de Van der Waals. Plusieurs couches d'atomes ou de molécules peuvent se déposer de cette manière [50].

#### III.2.2. Adsorption chimique [51] :

Dans le cas de l'adsorption chimique, il y a création de liaisons entre les atomes de l'adsorbant et les molécules de l'adsorbat. La chimisorption est complète quand tous les centres actifs de l'adsorbant ont établi une liaison avec les molécules de l'adsorbat.

Dans le cas de la formation d'une liaison chimique spécifique, on peut envisager différents types de liaisons :

- a. Soit une liaison purement ionique dans laquelle l'atome ou l'ion joue le rôle de donneur ou d'accepteur d'électrons ;
- b. Soit une liaison covalente.

Le tableau III.1 présente les caractéristiques de l'adsorption physique et de l'adsorption chimique :

**Tableau III.1 :** Caractéristiques de l'adsorption physique et de l'adsorption chimique

<b>Adsorption physique</b>	<b>Adsorption chimique</b>
Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique
La température du processus est relativement basse comparée à la température d'ébullition	La température du processus est plus élevée que la température d'ébullition
La désorption est facile	La désorption est difficile
Les énergies mises en jeu sont faibles	Les énergies mises en jeu sont élevées
Cinétique très rapide	Cinétique très lente
Processus non spécifique	Processus spécifique

### III.3. Isothermes d'adsorption [51] :

Le type d'isotherme permet de dégager des conclusions qualitatives sur les interactions entre les adsorbats et l'adsorbant.

**1)- Isothermes de type I** : elles sont typiques d'une adsorption en monocouche, ou correspondant au remplissage de micropores avec saturation lorsque le volume à disposition est totalement rempli. Ce type d'isothermes est caractéristique pour l'adsorption sur les charbons microporeux et les zéolithes.

**2)- Isothermes de type II** : au contraire, elles correspondent en général à l'adsorption multicouche sur des surfaces ouvertes. Cependant, une isotherme de type II peut aussi résulter d'une somme d'isothermes I + II, (remplissage de micropores suivi d'une adsorption multicouche sur une surface externe).

**3)- Isothermes de type III** : elles reflètent un manque d'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant et des interactions adsorbat-adsorbat relativement fortes. C'est le cas de l'adsorption de l'eau sur des surfaces hydrophobes (par exemple graphite ou charbons actifs contenant peu d'oxygène).

**4)- Isothermes de type IV** : elles peuvent résulter de la combinaison d'une isotherme de type I (adsorption forte, mais limitée) et de type V. C'est le cas de l'eau sur les composés organiques riches en oxygène.

**5)- Isothermes de type V** : elles reflètent aussi une forte interaction entre les adsorbats. De plus, l'existence d'une hystérésis au cours de la désorption reflète la présence de mésopores dans lesquels la vapeur se condense en formant un ménisque de forte courbure.

**6)- Isothermes de type VI** : elles présentent des marches caractéristiques d'une adsorption multicouche sur une surface non poreuse très homogène.

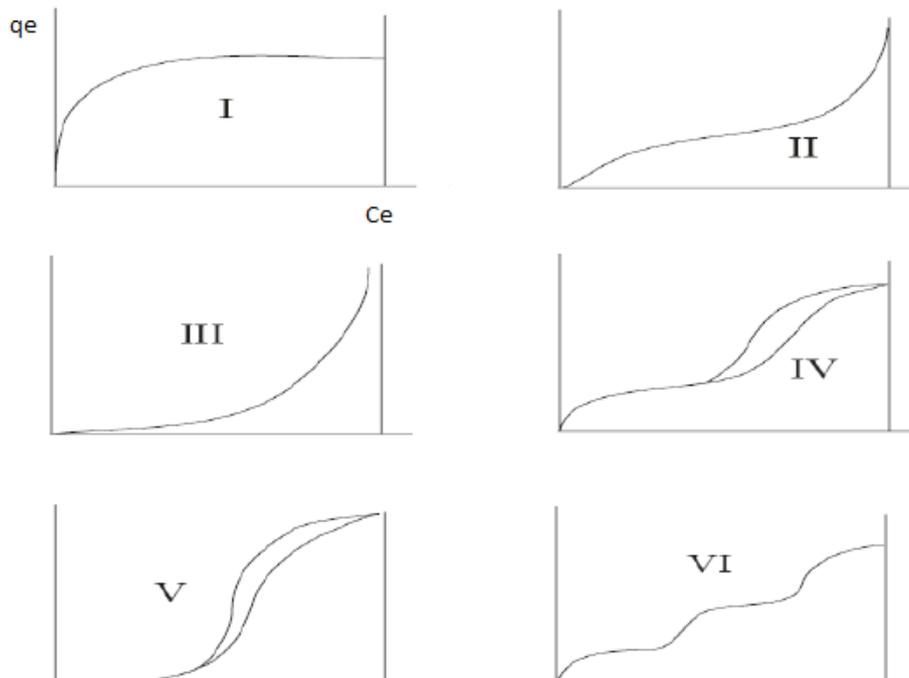


Figure III.1 : Différents types d'isothermes

### **III.4. Modélisation de l'adsorption [52] :**

#### **a. Equation de Langmuir :**

Le modèle de Langmuir est exprimé par l'équation suivante :

$$q = \frac{q_m \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (\text{Eq.III.1})$$

Avec :

q: quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

q<sub>m</sub> : capacité d'adsorption ultime (mg/g).

C<sub>e</sub>: concentration du soluté dans la phase liquide à l'équilibre (mg/L).

b : constante de Langmuir.

La linéarisation de l'équation de Langmuir donnée par la relation (Eq.III.2) permet de déduire la capacité ultime q<sub>m</sub> et la constante de dissociation K<sub>d</sub> qui vaut 1/b.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{K_d}{q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (\text{Eq.III.2})$$

q<sub>e</sub>: quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

#### **b. Equation de Freundlich :**

L'isotherme de Freundlich est une isotherme semi empirique, qui contrairement à l'isotherme de Langmuir tient compte de l'inégalité d'énergie d'adsorption des différents sites. L'isotherme de Freundlich repose sur l'hypothèse que le nombre de sites existants, associés à une énergie libre donnée, décroît exponentiellement avec l'augmentation de l'énergie libre.

L'équation de l'isotherme de Freundlich s'écrit :

$$q = K C_e^{1/n} \quad (\text{Eq.III.3})$$

Avec :

q : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g ou mole/g)

C<sub>e</sub> : concentration à l'équilibre du soluté en phase liquide (mg /L ou mole/L)

K et 1/n : constantes de Freundlich, associées respectivement à la capacité d'adsorption et à l'affinité de l'adsorption .

K et n sont des constantes expérimentales qui dépendent respectivement de la nature de l'adsorbat et de l'adsorbant.

Leur détermination se fait à l'aide de l'équation (Eq.III.4)

$$\text{Log } q_e = \text{Log } K + \frac{1}{n} \cdot \text{Log } C_e \quad (\text{Eq.III.4})$$

$q_e$ : quantité de soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant (mg/g).

**c. Isotherme de Temkin [52] :**

Cette équation comprend un facteur qui prend en considération les interactions adsorbant adsorbat. En ignorant les concentrations extrêmement basse et élevées, ce modèle assume que la chaleur d'adsorption, qui est fonction de la température de toutes les molécules dans la couche, diminue linéairement .

Le modèle est régit par l'équation suivante :

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad (\text{Eq.III.5})$$

En posant :

$$B = \frac{RT}{b_T}$$

L'équation (Eq.III.5) devient:

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (\text{Eq.III.6})$$

$C_e$  : Concentration de l'ion à l'équilibre (mole/L),  
 $q_e$ : Quantité d'ion adsorbée à l'équilibre par (mol/g),  
 $A_T$ : Constante d'équilibre de Temkin (L/g)  
 $b_T$  : Constante de Temkin  
 $R$  : Constante des gaz parfaits (8.314J/mol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup> )  
 $T$  : Temperature (K).  
 $B$  : Constante relative à la chaleur de sorption(J/mol)

**d. L'isotherme de Dubinin-Radushkevich [52]**

L'isotherme de Dubinin-Radushkevich est généralement utilisée pour exprimer le mécanisme d'adsorption ayant une distribution d'énergie gaussienne sur une surface hétérogène.[41,42]

L'isotherme de Dubinin-Radushkevich a la forme suivante [43] :

$$q_e = q_m e^{-\beta \varepsilon^2} \quad (\text{Eq.III.7})$$

Une forme linéaire de l'isotherme Dubinin-Radushkevich est [44] :

$$\ln(q_e) = \ln(q_m) - \beta \varepsilon^2 \quad (\text{Eq.III.8})$$

Où :

$q_m$  : capacité théorique de saturation (mg/g),

$\beta$  est une constante liée à l'énergie libre moyenne de l'adsorption par mole de l'adsorbant ( $J \cdot mole^{-1}$ ), et  $\varepsilon$  est le potentiel de Polanyi qui est lié à la concentration d'équilibre par la relation suivante [45] :

$$\varepsilon = RT \cdot \ln\left(1 + \frac{1}{C_e}\right) \quad (\text{Eq.III.8})$$

R : Constante des gaz parfaits ( $8.314 J/mol \cdot K^{-1}$ )

T : Temperature (K).

La constante  $\beta$  donne une idée au sujet de l'énergie libre moyenne d'adsorption « E » (KJ/mole) par molécule d'adsorbant quand elle est transférée à la surface du solide de l'infini dans la solution. Elle peut être calculée par le rapport [52] :

$$E = \frac{1}{\sqrt{(2\beta)}} \quad (\text{Eq.III.9})$$

« E » fournit l'information si le mécanisme adsorption est l'adsorption d'échange ionique ou physique [52] :

- $E < 8$  KJ/mole, le processus d'adsorption est à caractère physique.
- $8 < E < 16$  KJ/mole, l'échange ionique est le facteur dominant.
- $E > 16$  kJ/mol, l'adsorption est dominée par la diffusion intra-particulaire.

### **III.5. Adsorption des pesticides sur le sol :**

#### **III.5.1. Facteurs influençant l'adsorption des pesticides sur le sol :**

##### **III.5.1.1. Le taux d'humidité:**

L'eau contenue dans un milieu adsorbant influence l'adsorption par son rôle dans les mécanismes de l'adsorption et par son effet sur l'accessibilité des sites d'adsorption.

Il n'existe pas de relations quantitatives entre la teneur en eau et les quantités de pesticides adsorbées [5].

Des auteurs ont montré que les pesticides appliqués sur un sol sec seraient plus rapidement adsorbés par l'effet de l'absorption de l'eau [32]

##### **III.5.1.2. La température:**

Les quantités adsorbées dépendent diversement de la température selon le type d'interactions mise en jeu, mais, très souvent, elles diminuent avec une augmentation de température, en particulier pour les molécules organiques non ionisées qui sont retenues par

adsorption physique. Un abaissement de la température peut provoquer une précipitation des pesticides très peu solubles qui peut alors être confondue avec l'adsorption [5].

Dans certains cas la température élevée favorise l'adsorption ; c'est le cas des triazines sur les acides humiques [53].

### **III.5.1.3. Le temps de contact [60] :**

L'interprétation des mesures de sorption est souvent difficile étant donné qu'il n'est jamais certain que l'équilibre soit atteint. Il l'est probablement assez rapide dans le cas de particules non poreuses en suspension ; en revanche, avec des particules ou des massifs organo-minéraux poreux comme le sont les matériaux terreux, l'équilibre peut être atteint très lentement.

D'autres facteurs peuvent aussi influencer l'adsorption des pesticides dans le sol tel que le pH, la texture...etc.

### **III.5.2. Effet de la composition du sol sur l'adsorption des pesticides:**

En générale l'adsorption dans le sol est due aux argiles, Cependant dans le cas des pesticides, la matière organique s'avère être le paramètre déterminant [26][32][41].

#### **III.5.2.1. Effet de la matière organique :**

Plusieurs études signalent que la matière organique joue un rôle important dans l'adsorption des pesticides sur les sols et que l'amendement organique permet de contrôler leur lixiviation et de réduire la contamination des eaux souterraines [53] [54] [55].

L'adsorption des pesticides sur les matières organiques des sols est due à la présence de plusieurs groupes fonctionnels dont on cite [5] :

- Groupes polaires (hydrophiles) comme les groupes carboxyliques, phénoliques, hydroxyles et tout les groupes azotés.
- Groupes apolaires (hydrophobes) comme les groupes aliphatiques et aromatiques.

#### **III.5.2.2. Effet des minéraux argileux :**

Les minéraux argileux sont des matériaux qui ont une capacité d'adsorption élevée des composés organiques.

Les minéraux argileux peuvent réduire également la photodégradation et la volatilisation des pesticides [58]. Parmi ces minéraux, la montmorillonite et la kaolinite jouent un rôle majeur dans l'adsorption et la conservation des pesticides organiques sur les sols [59].

Les surfaces des minéraux doivent leurs propriétés adsorbantes à la présence de [5] :

- Charges électriques, le plus souvent négatives, rarement positives.
- Cations métalliques, soit en tant que cations compensateurs des charges électriques négatives (principalement  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , ...), soit comme éléments constitutifs des surfaces cristallines (principalement  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , ...).
- groupes hydroxyles  $\text{OH}^-$ .

# Chapitre IV

## Mobilité de l'oxamyl dans le sol

### IV.1. Introduction :

L'oxamyl est une substance active insecticide, acaricide et nématocide de la famille des carbamates. L'oxamyl est connu pour son action efficace contre l'invasion des nématodes aux racines des plantes, il est notamment utilisé pour le traitement du sol en culture maraîchère contre les nématodes [4].

Son efficacité, comme d'ailleurs celle de n'importe quel insecticide, dépend de sa distribution spatiale dans le sol et de sa capacité à atteindre l'organisme ciblé à une concentration adéquate et dans un minimum de temps. Ceci dit, l'adsorption et la dégradation de l'oxamyl ont un effet important sur son efficacité [61].

### IV.2. Propriétés et Caractéristiques de l'oxamyl:

Le tableau V.1 ci-dessous résume les propriétés physiques et chimiques de l'oxamyl :

**Tableau IV.1.** Propriétés physique et chimique de l'oxamyl [4]

<b>Formule brute</b>	<b>C<sub>7</sub>H<sub>13</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>S</b>
<b>Masse molaire</b>	<b>219,261 g/mol</b>
<b>Point de fusion</b>	<b>95–101 °C</b>
<b>Solubilité dans l'eau</b>	<b>280 mg·L<sup>-1</sup> à 25 °C</b>
<b>Masse volumique</b>	<b>0,97 g·cm<sup>-3</sup> à 25 °C</b>
<b>Pression de vapeur saturante</b>	<b>2,30×10<sup>-4</sup> mmHg à 25 °C</b>



**Figure IV.1.** Structure de l'oxamyl [4]

## Chapitre IV : Mobilité de l'oxamyl dans le sol

---

Comme tous les autres pesticides, l'utilisation excessive de l'oxamyl représente une source de pollution du sol, des eaux de surfaces et même des eaux souterraines.

### **IV.3. Mobilité de l'oxamyl dans le sol:**

Beaucoup de travaux de recherche ont été réalisés pour étudier les facteurs influençant l'adsorption des pesticides sur le sol (Bailey and White 1970; Mortland 1970), Cependant et jusqu'aujourd'hui, peu de chercheurs se sont focalisé sur l'adsorption de l'oxamyl dans le sol.

L'une des études les plus pertinentes est celle qui a été réalisé par le chercheur Zev Gerstl en 1984 à l'institut des sols et de l'eau en Israël. [61]

#### **IV.3.1. Composition des sols :**

L'étude a porté sur le comportement de l'oxamyl sur différents types de sols

Le tableau IV.2 résume la composition des sols étudiés :

**Tableau IV.2.** Composition des sols étudiés [61]

Numéro du sol	Argile (%)	MO (%)	Carbonates (%)	pH
1	7.5	0.11	3.5	8.5
2	13.7	0.68	2.3	7.9
3	23.1	0.95	12.9	7.8
4	70.0	1.23	0.2	7.2
5	70.0	2.03	8.9	7.7

#### **V.3.2. Adsorption de l'oxamyl sur le sol :**

Les essais [61] ont été réalisés dans des tubes à essais en verre contenant 5g de l'adsorbant (le sol) et une solution d'oxamyl de 4ml de volume et une concentration initiale de 5-100mg.L<sup>-1</sup>. Le mélange est agité pendant 2 heures, l'adsorption de l'oxamyl a été déterminée par la mesure de sa concentration dans la solution.

Les isothermes d'adsorption sont linéaire et il existe une relation liant le coefficient de d'adsorption  $K_d$  à la composition du sol .Les valeurs de  $K_d$  dans le tableau V.3 nous montre que l'oxamyl n'est pas fortement adsorbé par le sol .les isothermes d'adsorptions obtenus sont tous linéaires et répondent à l'équation de Freundlich [61]

## Chapitre IV : Mobilité de l'oxamyl dans le sol

Sol n°	$K_d$ (ml.g <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	$K_{om}$	$K_c$
1	0.05	0.989	45.4	0.67
2	0.08	0.997	11.8	0.58
3	0.15	0.997	15.8	0.65
4	0.26	0.996	21.1	0.37
5	0.31	0.995	15.3	0.44

**Tableau IV.3.** Paramètres d'adsorption de l'oxamyl sur les différents sols [61]

Avec :

$K_{om}=K_d*(\% \text{ matière organique du sol})$

$K_c=K_d*(\% \text{ argile du sol})$

Il a été montré que l'adsorption des pesticides à travers le sol dépend de la matière organique dans ce dernier, cependant les autres composants du sol peuvent aussi contribuer significativement à l'adsorption dans certains cas [62][63].

Pour le cas de l'oxamyl, l'adsorption a été mieux corrélée par la composition en argile que la composition en matière organique.

### **IV.3.3. Décomposition de l'oxamyl dans le sol :**

Les produits de dégradation de l'oxamyl peuvent être aussi toxiques ou même plus toxiques que la molécule d'origine. Une petite concentration dans l'eau peut conduire à une forte concentration dans les tissus graisseux des consommateurs en général

En s'intéressant à la dégradation de l'oxamyl dans le sol, une étude a été menée par Zev GERSTL [61] afin de mettre en évidence l'influence du taux humidité du sol, la température et la concentration initiale de l'oxamyl sur la décomposition de ce dernier. Le travail a été réalisé sur un sol présentant les caractéristiques données dans le tableau IV.2 (sol n°2).

D'après les résultats obtenus (tableau IV.4), la décomposition de l'oxamyl obéit à une cinétique d'ordre 1.

**Tableau IV.4.** Résultats de la décomposition de l'oxamyl sur le sol n°2 [61]

Pourcentage d'humidité(%)	Température (°C)	Concentration initiale(mg d'oxamyl par Kg du sol)	K (jour <sup>-1</sup> )	T <sub>1/2</sub> (jours)
3.5	25	5	0.052(±0.004)	13.3
5.5	15	5	0.021(±0.001)	32.7
5.5	25	5	0.079(±0.006)	8.8
5.5	35	5	0.182(±0.013)	3.8
5.5	25	50	0.062(±0.004)	11.1
7.1	25	5	0.139(±0.010)	5.0
10.4	25	5	0.158(±0.009)	4.4
16.6	25	5	0.168(±0.006)	4.1

Par ailleurs et d'après le tableau IV.4 on peut constater qu'il existe une relation inversement proportionnelle entre l'humidité du sol et la décomposition de l'oxamyl.

L'effet de l'humidité sur la décomposition de l'oxamyl résulte de son effet sur l'activité microbienne, car plus le taux d'humidité du sol décroît plus la population microbienne diminue et donc la décomposition de l'oxamyl diminue elle aussi.

Ces résultats ont été observés dans plusieurs travaux de recherches [64][65][66].

# **V. Conclusion** **générale**

## V. Conclusion générale

---

Les pesticides sont utilisés en agriculture pour la protection des cultures. Cependant leur toxicité peut engendrer des impacts nuisibles pour l'environnement et la santé.

Le dossier pesticide est un sujet complexe d'où il faut se méfier des idées reçues. D'où la nécessité d'avoir quelques données techniques et scientifiques, c'est ce que nous avons essayé de découvrir dans ce travail.

L'un des compartiments de notre environnement les plus concernées par les effets de toxicité des pesticides est l'eau souterraine, cette ressource qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources de contaminations ponctuelles et diffuses. La migration de ces polluants dépend étroitement de leurs propriétés et de celles des milieux traversés par ces derniers.

Plusieurs travaux de recherche se sont penchés sur la mobilité des pesticides dans le sol et ceci en étudiant leur mobilité sur ce dernier après leur application.

L'oxamyl se positionne comme l'un des pesticides les plus efficaces pour la lutte contre les nématodes, c'est aussi l'un des produits chimiques les plus utilisés en agriculture. Malgré ses nombreux avantages, l'oxamyl présente un risque majeur de contamination des eaux souterraines après son application sur le sol.

Ce travail nous a permis de cerner le devenir le comportement de l'oxamyl après son application. Il s'avère que l'adsorption de l'oxamyl obéit au modèle de Freundlich.

En outre, il a été constaté que l'humidité du sol a une influence sur la mobilité de l'oxamyl car il existe une relation inversement proportionnelle entre l'humidité du sol et la décomposition de l'oxamyl.

L'effet de l'humidité sur la décomposition de l'oxamyl résulte de son effet sur l'activité microbienne, car plus le taux d'humidité du sol décroît plus la population microbienne diminue et donc la décomposition de l'oxamyl diminue elle aussi.

En perspective, une étude plus approfondie sur les produits de dégradation de l'oxamyl dans le sol les risques de contaminations des nappes phréatiques par ces derniers est souhaitable.

**Références**

**Bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

- [1] <http://dsne.chez-alice.fr/eau/RBVNET/RBV/KPST.HTM#debut>
- [2] [http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degradation/06\\_pollution.htm](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/degradation/06_pollution.htm)
- [3] O.Haouchine « Impact d'un herbicide -la métribuzine sur l'environnement et modélisation de son transfert dans le sol par percolation » ENP Alger (2013)
- [4] [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [5] Barruiso Calvet R., Barriusso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.-P., Coquet Y., Les pesticides dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales. Éditions France Agricole, Dunod, Paris, France. (2005)
- [6] Barriusso E., Calvet R., Soil Type and Herbicide Adsorption. Intern. J. Environ. Anal.Chem., 46,117-128. (1992)
- [7] Devez, A.,Caractérisation des risques induits par les activités agricoles sur les écosystèmes aquatiques. Thèse doctorale de L'ENGREF, Montpellier, France. (2004)
- [8] E. Barriusso, R. Calvet, M. Schiavon et G. Soulas.«Les pesticides et les polluants organiques des sols : transformation et dissipation ». Etude et Gestion des Sols, 3, 4: p. 279-296,( 1996)
- [9] A. Alix, E. Barriusso, C. Bedos, B. Bonicelli, T. Caquet, I. Dubus, C. Gascuel, J.-J. Gril et M. Voltz, « Devenir et transfert des pesticides dans l'environnement et impacts biologiques ». Expertise scientifique collective "Pesticides, Agriculture et Environnement" (1999)
- [10] : Lig'Air. « Les pesticides en milieu atmosphérique : étude en région centre ». Réseau de surveillance de la qualité de l'Air en région Centre. France.(2001)
- [11] : A. Kersanté. « Rôle régulateur de la macrofaune lombricienne dans la dynamique de l'herbicide atrazine en sol cultivé tempéré ». Thèse de Doctorat. Université de Rennes 1. France. (2003)
- [12] Taylor, A.W. et Spencer, W.F,Volatilization and vapor transport processes. Pesticides in the soil environment :processe, impacts and modeling. CHENG H.H., 213-269.(1990)
- [13] Gouy, V., Garon-Boucher, C., Ravanel, P., Tissut, M, Les produits phytosanitaires : de la parcelle au cours d'eau. Actes du colloque Lyon-Fleuves : Scientifiques et décideurs, agir ensemble pour une gestion durable des systèmes fluviaux, organisation Agence de l'Eau RMC. Lyon, France.(2001)
- [14] Louchart, X., Transfert de pesticides dans les eaux de surface aux échelles de la parcelle et d'un bassin versant viticole. INRA/ENSAM Laboratoire de science du sol. Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Montpellier, France. (1999)
- [15] Gish, T.G., Shirmohammadi, A., Wienhold, B. J, Field-scale mobility and persistence of commercial and starch-encapsulated atrazine and alachlor. J. Environ. Qual, (1994)

## Références bibliographiques

---

- [16] Weber, W. J., Warren, R. L., Swain, L. R., Yelverton, F. H, Physicochemical property effects of three herbicides and three soils on herbicides mobility in field lysimeters. *Crop Prot.*, 26, 299-311. (2007)
- [17] Wietersen, R. C., Daniel, T. C., Fermanich, K. J., Girard, B. D., Mcsweeney, K., Lowery, B. Atrazine, alachlor, and metolachlor mobility through two sandy Wisconsin soils. *J. Environ. Qual.*, 22, 811-818. (1993)
- [18] Barruiso E, Calvet R, Schiavon M, Soulas G. Les pesticides et les polluants organiques des sols : transformation et dissipation. *Et. Gest. Sols*, 3, 279-296. (1996)
- [19] Aubertot, J.N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., Voltz, M., Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Rapport d'Expertise scientifique collective, INRA et Cemagref, France.(2005)
- [20] Louchart X., Voltz, M., Andrieux, P. Temporal Variation in the Availability of Diuron to Transport by Overland Flow. *C.R. Acad. Sci. Paris, Earth Planet. Sci.*, 331, 475- 481. (2000)
- [21] Calvet, R. et Charnay, M.-P, Le devenir dans le sol des substances phytopharmaceutiques. Pesticide et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Ed ACTA, Paris, 805-833. (2002)
- [22] : A. Claver, P. Ormad, L. Rodriguez et J. L. Ovelleiro.« Study of the presence of pesticides in surface waters in the Ebro river basin (Spain) ». *Chemosphere*, 64: p. 1437-1443, (2006)
- [23] : L. Aizel. 2004. « Traitement des eaux contaminées par la métribuzine par couplage : électrocoagulation-rayons UV ». Mémoire de Magister. Département de Génie de l'Environnement, Ecole Nationale Polytechnique d'El-Harrach. Algérie.
- [24] ] : M. G. V.-D.-W. Hayo. « Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement ». *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 31: p. 5-22. (1997)
- [25] : S. M. Khan et G. Kour. « Subacute oral toxicity of chlorpyrifos and protective effect of green tea extract ». *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 89: p. 118-123. (2007)
- [26] INPV. « Les produits phytosanitaires à usage agricole ». Institut National de Protection des Végétaux. El-Harrach, Algérie.
- [27] : O. keichinger. « Evaluation de l'impact des pratiques agricoles d'exploitations de grandes cultures sur la valeur cynégétique à l'aide d'indicateurs agro-écologiques ». Thèse de Doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine. France. (2001)
- [28] C. Bliefert, R. Perraud., *Chimie de l'environnement Air-Eau-Sols, déchets*. Edition, Paris ; Bruxelles : De Boeck université (2001)
- [29] Société Suisse de Pédologie. Définition du sol, 3p. (1998)

## *Références bibliographiques*

---

- [30] Musy A. & Soutter M. Physique du sol. Eds Presses polytechniques et universitaires romandes. 335 p. (1991)
- [31] Baize D., Girard MC., Boulaine J., Cheverry C., Ruellan A., Référentiel pédologique. Eds INRA, Paris. 222p. (1992)
- [32] : M. Stenrod, J. Perceval, P. Benoit, M. Almvik, R. I. Bolli, O. M. Eklo, T. E. Sveistrup et J. Kværner. 2007. « Cold climatic conditions; effects on bioavailability and leaching of the mobile pesticide metribuzin in a silt loam soil in Norway ». Cold Regions Science and Technology, (2007)
- [33] : C. Mathieu. « Analyse physique des sols : méthodes choisies ». Édition Tec et Doc, Lavoisier, Paris. (1998)
- [34] Calvet, R., Le sol, propriétés et fonctions. Tome 1 : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Editions France Agricole, Dunod, Paris, France. (2003)
- [35] Flogeac, K. Etude de la capacité de rétention de produits phytosanitaires par deux solides modèles des sols. Influence de la présence des cations métalliques. Thèses de doctorat, Université de Rennes, France.(2004)
- [36] Robert, M., Le sol: Interface dans l'environnement, ressource pour le développement Masson, Paris, France.(1996)
- [37] : C. Gauthier. « Contribution à l'étude du fractionnement de l'aluminium libéré dans des solutions de sols forestiers. Influence de la quantité et de la nature de la matière organique ». Thèse de Doctorat. Faculté des sciences et techniques, Université de Limoges. France.(2002)
- [38] : O. Bouras. « Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation ». Thèse de Doctorat. Faculté des sciences et Techniques, Université de Limoges. France.(2003)
- [39] : F. Twagiramungu. « Etude potentiométrique des propriétés acido-basiques et de complexation d'acides humiques d'origine différente avec les ions  $Pb^{2+}$  et  $Cu^{2+}$  ». Thèse de Doctorat. Université de GENT.(2003)
- [40] El Arfaoui Benaomar A, Etude des processus d'adsorption et de désorption de produits phytosanitaires dans des sols calcaires. Thèse de Doctorat, Université de Reims, Champagne-Ardenne, France.(2010)
- [41] : J. Labanowski , « Matière organique naturelle et anthropique : vers une meilleure compréhension de sa réactivité et de sa caractérisation ». Thèse de Doctorat. Faculté des sciences et techniques, Université de Limoges. France.(2004)
- [42] Oades, J. M, An introduction to organic matter in mineral soils. In: Minerals in soil Environments, Ed. J.B. Dixon and S.B. Weed, Madison, 89-159 (1989)

## Références bibliographiques

---

- [43] Ndira, V, Substances humiques du sol et du compost. Analyse élémentaire et groupements atomiques fictifs : vers une approche thermodynamique. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France. (2006)
- [44] [http://lepotagerfacile.free.fr/le\\_sol.htm](http://lepotagerfacile.free.fr/le_sol.htm)
- [45] Duchaufour, P, Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement. Ed. Dunod, Liège, Belgique.(2004)
- [46] <http://espacepurlavie.ca/file/5310>
- [47] <http://agrotizi.xooit.fr/t922-Le-complexe-argilo-humique.htm>
- [48] F. Edeline, « *L'épuration physico-chimique des eaux, Théorie et technologie* », 4<sup>ème</sup> édition, Liège, (1998).
- [49] M. Metidji, A.E.A. Khiter, « *Etude de la rétention des ions Ni<sup>2+</sup> issus d'une solution aqueuse et d'un effluent industriel sur la biomasse Pleurotus Mutilus en mode dynamique* », PFE à l'USTHB, Faculté GP/GM (2008).
- [50] : N.MOUSSAOUI,A.BENMOUNAH «contribution à l'étude de la biosorption de produits organique phénolet 4-nitrophénol», PFE, USTHB, Faculté GP/GM (2010)
- [51] :C.E.CHITOUR «physico-chimie des surfaces», volume II, Ed.OPU, (1992)
- [52] A.Olalekan, "Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin–Radushkevich Isotherms Studies of Equilibrium Sorption of Zn<sup>2+</sup> Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk" Dada, , O4 Department of Physical Sciences (Industrial Chemistry Unit), Landmark University, P.M.B. 1001 Journal of applied chemistry (2012)
- [53] : N. Senesi.« Binding mechanisms of pesticides to soil humic substances ». The Science of the Total Environment, 123/124: p. 63-76.(1992)
- [54] : A. Alix, E. Barriuso, C. Bedos, B. Bonicelli, T. Caquet, I. Dubus, C. Gascuel, J.-J. Gril et M. Voltz.
- [55] : K. M. Spark et R. S. Swift. « Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption ». The Science of the Total Environment, 298: p. 147-161. (2002)
- [56] : N. Koleli, A. Demir, H. Arslan et C. Kantar. « Sorption behavior of methamidophos in a heterogeneous alluvial soil profile ». Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects, 301: p. 94-99 (2007)
- [57] : E. Fuentes, M. E. Baez et D. Reyes. « Microwave-assisted extraction through an aqueous medium and simultaneous cleanup by partition on hexane for determining pesticides in agricultural soils by gas chromatography: A critical study ». Analytica Chimica Acta, 578: p. 122-130. (2006)
- [58] : G. Lagaly. « Pesticide - clay interactions and formulations ». Applied Clay Science, 18: p. 205-209.(2001)

## Références bibliographiques

---

- [59] : P. Fruhstorfer, R. J. Schneider, L. Weil et R. Niessner. « Factors influencing the adsorption of atrazine on montmorillonitic and kaolinitic clays ». *The Science of the Total Environment*, 138: p. 317-328. (1993)
- [60] Saiba Ali. “Etude de l’adsorption d’un herbicide” ENP, Magister, Département génie de l’environnement (Alger) (2008)
- [61] Zev Gerstl. “Adsorption, Decomposition and Movement of Oxamyl in Soil Division of Soil Residues Chemistry, Institute of Soils and Water, Agricultural Research Organization, The Volcani Center, P. O. B. 6, Bet Dagan; 50-250 Israel (1984)
- [62] O.P.BANSAL “Adsorption and interactions of oxamyl with acid and base saturated illites” *Journal of colloid and interface science* Vol 81.No 1, May (1981)
- [63] R.K.OSBORN “Isolation and identification of oxamyl-degrading bacteria from UK agricultural soils” *Soil biology and biochemistry* 42 998-1000 (2010)
- [64] Smclt, **J. H.**; Dekker, **A.**; Leistra. M. *Nerh. J. Agric. Sci.* 1979, **27**, 191 - 198.
- [65] Obrigawitch, T.; Wilson, R. G.; Martin, A. R.; Roeth, F. W. *Weed Sci.* 1982, **30**, 175-181.
- [66] Roberts, T. R.: Stoydin, G. *Pestic. Sci.* 1976. 7, 145-149.